

用贴片散斑法测量复合材料 方形薄壁梁弯曲变形

屠美容 韩金虎 成传贤

(中国科学院力学研究所) (北京航空学院材力教研室)

摘 要

本文用贴片散斑法,对碳纤维复合材料方形薄壁梁的弯曲变形进行测量,实验在脱离了暗室和防震台的现场进行。两次曝光后的散斑底片经三个方向滤波后得到三组不同方向的全场等位移线,揭示了各向异性材料梁的变形规律和应变分布的全貌,由此测得的应变值与工程梁理论计算结果相符,也与电测结果相符。

一、引 言

云纹、散斑和全息干涉技术是近二十年内先后发展起来的新型光学测试技术,它的应用和发展已渗透到复合材料力学的领域中,

普通云纹法简单、直观,能够迅速地显示应变场的变化规律,并能应用于现场测量和实时显示,但它的灵敏度受所用光栅频率的限制,一般只能在100线/毫米以下,这对于直到破坏还处于弹性变形的碳纤维复合材料方形梁,缺乏足够的灵敏度。

全息云纹干涉法的测量灵敏度很高,光栅密度可达2000线/毫米,且条纹清晰。但它需防振措施,难以脱离暗室,因而限制了它在现场的应用。

直接散斑法的测量灵敏度介于上述两种方法之间⁽¹⁾,它的量程范围正好是这两种法的补充,而对环境稳定性的要求则比全息云纹干涉法大大降低。尤其是白光散斑直接记录法⁽²⁾,由于它测试设备简单,操作方便,能脱离暗室,脱离防震台,适合于各种条件下的工程现场测量,因而是研究弹塑性应变场的有效手段。

本文用贴片散斑法⁽³⁾解决了碳纤维复合材料方形薄壁梁的弯曲变形测量,得到三个不同方向的全场位移分布曲线,揭示了在各向异性材料中梁的变形规律和应变分布全貌,它将

本文1986年12月15日收到

为如何把均匀材料工程梁的弯曲理论推广到各向异性的复合材料梁中, 提供了实验依据。

二、方法简述

用贴片散斑法对梁试件进行应变分布测定的过程, 分以下三个步骤进行:

1. 准备过程

试验前先在试件上按文献[3]所述的方法, 贴上可剥离铝箔, 保证粘贴平整, 无褶皱。待粘接剂彻底固化后, 轻轻揭下剥离层。此时, 试件表面有如复盖一层金属铝, 它光亮、致密, 有极好的反射比。

2. 录记过程

经上述处理后的试件, 便可用白光散斑直接记录法, 进行变形测量。图1为记录时的光路示意图, 试件表面的精细光学结构在白光照射下辐射率呈随机分布的函数, 用全息底片对此试件前后两次曝光, 便可得到试件表面的变形信息。

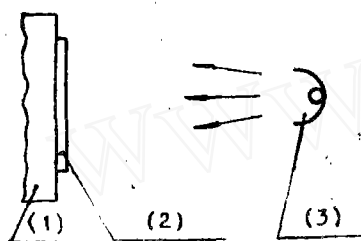


图1 记录光路示意图

1) 物体, 2) 全息平板, 3) 闪光灯

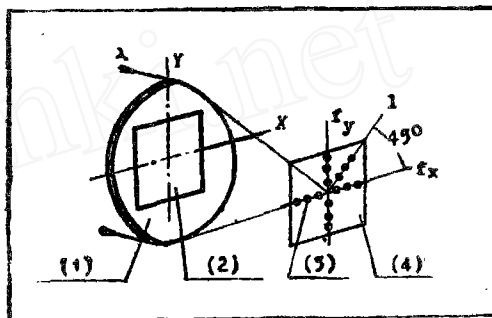


图2 全场分析光路图

1) 付氏透镜 2) 散斑底片 3) 滤波孔 4) 频谱面

3. 分析过程

冲洗后的散斑底片, 可以进行逐点分析, 也可以进行全场分析。图2为全场分析光路图。

全场分析显示试件试验段的全场等位移线, 其灵敏度的大小由滤波孔位置决定。它代表空间频率, 其换算公式为 $\mu = \frac{\sin \theta}{\lambda}$ 。全场干涉图形中相邻两条条纹的位移量就是该空间频率的倒数。

三、实验与讨论

1. 试验件

试件是用M40高模量碳纤维为增强材料, 与环氧648/BF3·MEA为基体材料, 经过无端头螺旋缠绕等多道工序, 制成碳纤维复合材料方形薄壁梁, 铺层形式为 $[\pm 45^\circ_2/0^\circ_0]$ 。表1列出了层板的工程常数^[4]。文献[4]也给出了梁的弯曲模量为116GPa。

试件几何尺寸及受力图如图3所示。

表1 单向层板工程常数

单位GPa

E_{1T}	E_{1C}	E_{2T}	E_{2C}	G_{12}
202	185	9.02	11.0	4.70

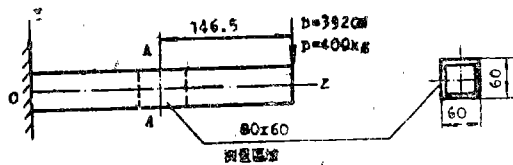


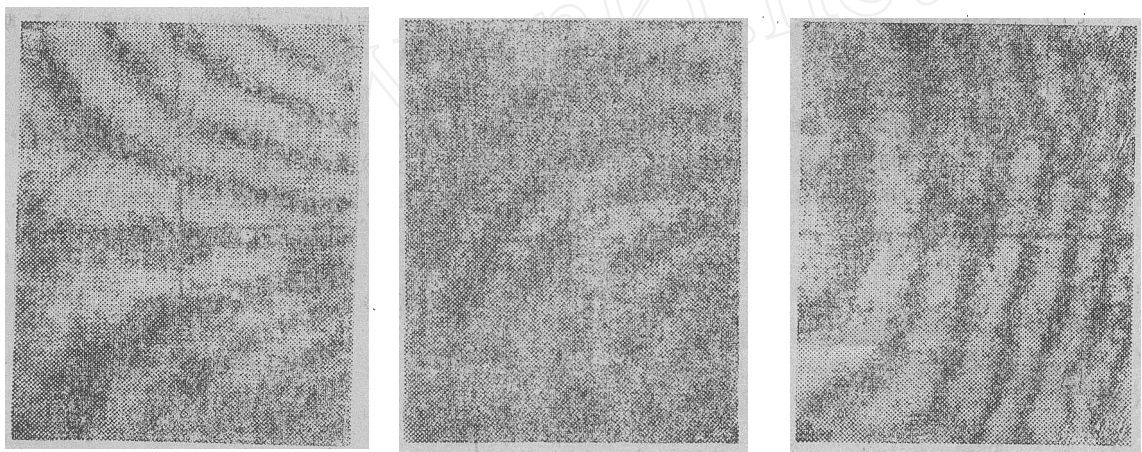
图3 试件几何尺寸及受力图

全场干涉条纹图，滤波孔的位置分别位于z轴、y轴及l方向（与z轴成45°方位）。

通过上述的三个滤波孔，拍摄的全场干涉图如图片4(a)、(b)、(c)所示，它们分别对应于z、y及l三个方向上的等位移线。由此三幅照片不难得到各点的 ϵ_z 、 ϵ_y 及 ϵ_l 值。

2. 散斑全场干涉图

为适应现场测量的需要，本实验采用自制的“现场用直接散斑记录仪”〔5〕。经加载前后两次曝光的散斑底片，放在图2所示的付里哀光路系统中进行滤波。为得到不同方向的应变分布，可以从三个不同方位拍摄



(a)z方向, 3041/mm

(b)y方向, 3041/mm

(c)l方向, 2771/mm

图4 z, y及l方向上的全场等位移线

3. 分析与讨论

现以A-A横截面为例。测得 ϵ_z 及 ϵ_y 沿截面高度分布实验值如图5中用“0”表示。同时，在A-A截面上贴电阻应变片，测得实验值在图4中用“×”表示。图5中的实线，是按文献〔6〕工程梁理论计算的理论值。

由实验结果我们可以看到：

(1) ϵ_z 沿A-A截面基本呈线性分布，其分布规律与用电测法所得的试验结果相符，而且与按工程梁理论计算值也相符。因此，对于各向异性的复合材料方形薄壁梁，在弯曲变形时仍可采用平面假设。

(2) ϵ_z 曲线中，由散斑法测出的最大拉应变为 $522\mu\epsilon$ ，最大压应变为 $576\mu\epsilon$ 。这是由于碳纤维复合材料的各向异性性质所造成，它的拉伸弹性模量大于压缩弹性模量(见表1)。

(3) 在梁的上、下边缘, 散斑测量值 ε_x 与 ε_z 基本上满足关系式 $\varepsilon_y = \nu\varepsilon_x$, 这是因为在方形梁的上、下边缘呈单向应力状态的缘故。

四、结束语

贴片散斑法用于碳纤维复合材料的小变形测量, 能够得到清晰的散斑全场分析图, 比起常规的电测法只能逐点测量, 显示更大的优越性。而且适用于工程现场对零构件的变形测量提供全场等位移线分布曲线。为揭示各向异性材料零构件的变形规律, 提供了直观、可靠的依据。我们相信, 随着它在生产实践和科学试验领域内的广泛应用, 必定会为进一步丰富和发展复合材料力学作出贡献。

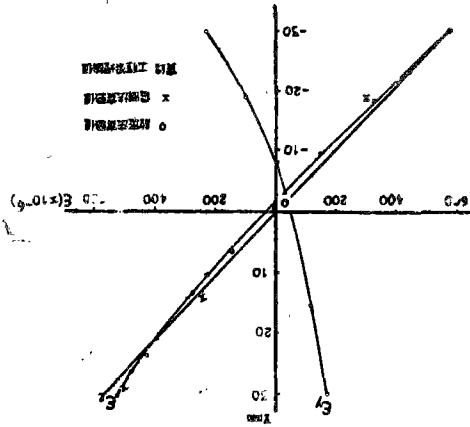


图5 A-A横截面上应变分布曲线

我们相信, 随着它在生产实践和科学试验领域内的广泛应用, 必定会为进一步丰富和发展复合材料力学作出贡献。

参 考 文 献

- [1] 屠美容, “用直接散斑法对平面应力问题进行全场应变分布测定的实验与分析”, 力学学报, 1983年, 第五期
- [2] 屠美容、韩金虎、吴卓肤, “白光散斑的直接记录和非相干分析系统”, 力学学报, 1986年, 第六期
- [3] 韩金虎、屠美容 “贴片散斑法及其应用”, 第五届全国实验力学学术交流会, 1987年。
- [4] 沃西源, “碳纤维复合材料方形薄壁梁的铺层设计制造工艺和试验”, 第四届全国复合材料学术会议文集, 1986年。
- [5] 韩金虎, “现场用直接散斑记录仪”, 第三届华东固体力学学术讨论会文集, 1986年
- [6] 成传贤, 罗又华, 章向群, “碳纤维矩形薄壁梁弯曲和扭转刚度研究”, 第四届全国复合材料学术会议文集, 1986年。

A PRACTICAL SOLUTION FOR ROOM TEMPERATURE SHAPE OF LARGE ASYMMETRICAL CROSS-PLY LAMINATES

Huang Yan

*Department of Aerospace Engineering
National University of Defense Technology
Changsha, China*

(Received February 24, 1987)

ABSTRACT

The analysis of the room temperature shape of asymmetrical laminates after high temperature curing is an important item for designing and manufacturing of composite materials. It has been shown that some unsymmetric laminates have cylindrical room temperature shapes. In addition, some unsymmetric laminates exhibit two stable room temperature configurations, both cylindrical. This paper presents a simple formula for room temperature shape of unsymmetric cross-ply laminates. The theory is based on the extension of classical lamination theory which accounts for geometric nonlinearity. The large displacements of thin plate is then derived. The formula for calculating the deformed curvature and inplane strains, deflections and inplane displacements are accurately agree with the existing experimental data.

STRAIN DETERMINATION IN A CARBON FIBER COMPOSITE BEAM BY OBJECTIVE SPECKLE OF STICKING FOIL

Tu Meirong and Han Jinhu

Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

Cheng Chuanxian

*Department of Elight Vehicle Design and Applied Mechanics
Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics*

Beijing 100083, China

(Received December 15, 1986)

ABSTRACT

In this paper a new method referred to as objective speckle of sticking

· X ·

foil has been employed in order to determine strain distribution in a carbon fiber composite box beam. The specimen surface was treated by relative easy techniques. Three fullfield contour maps are obtained with clear lines of equal displacement in 0° , 90° , and 45° directions, respectively. The experiment was carried out in an ordinary laboratory without a dark room or a vibration isolation bench. The results are agreed well with those by calculation according to the theory of engineering beams and by measuring of electrical-resistance strain gages.

STRESS ANALYSIS OF SYMMETRICAL LAMINATS

Cai Min and Cai Siwei

*Department of Mechanical Engineering
Hefei Polytechnic University, Hefei, China*

(Received October 1, 1986)

ABSTRACT

A theory of bending for the symmetrical laminated plates is derived. The distribution of transverse shear stresses is assumed and then the model of displacements is developed. By solving the governing equations in terms of displacement components, we can get displacements and stresses for a symmetrically laminated orthotropic plates. Numerical examples show good accuracy of the approach presented by comparing the results from the exact theory of elasticity.